

(19)



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



(11)

EP 0 777 278 A1

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:  
04.06.1997 Bulletin 1997/23

(51) Int Cl.<sup>6</sup> H01L 41/09

(21) Numéro de dépôt: 96402592.8

(22) Date de dépôt: 29.11.1996

(84) Etats contractants désignés:  
DE ES FR GB IT SE

(72) Inventeur: Audren, Jean Thierry  
78470 St. Remy les Chevreuse (FR)

(30) Priorité: 30.11.1995 FR 9514169

(74) Mandataire: Schrimpf, Robert  
Cabinet Regimbeau  
26, Avenue Kléber  
75116 Paris (FR)

(71) Demandeur: SFIM INDUSTRIES  
F-91300 Massy (FR)

(54) Moteur à vibrations à interface rotor/stator à alliage à mémoire de forme

(57) Moteur à vibrations comportant un stator (1) et un rotor (4), ainsi que des moyens d'excitation pour déformer ledit stator (1) selon un mode vibratoire destiné

à lui permettre d'entraîner en rotation le rotor (4), caractérisé en ce qu'il comporte un alliage à mémoire de forme, au niveau d'une zone de contact réciproque entre le rotor (4) et le stator (1).

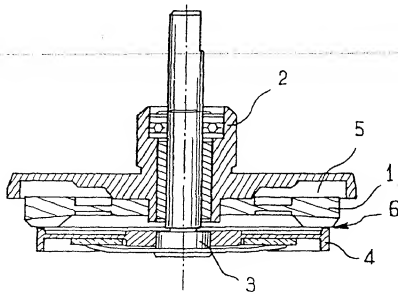


FIG. 2

### Description

La présente invention est relative aux moteurs à vibrations.

Les moteurs à vibrations sont également connus sous d'autres noms tels que moteurs ultrasonores pour faire référence à leur fréquence opératoire d'utilisation ou moteurs piézoactifs pour faire référence à leur matériau d'excitation préféré.

Les moteurs à vibrations comportent classiquement une interface de contact rotor-stator qui est le siège de phénomènes permettant l'entraînement du rotor par rapport au stator.

Ils fonctionnent sur le principe de la combinaison d'une déformation cyclique du stator tangente à la surface de contact avec une force normale cyclique synchrone. Ces déformations et forces cycliques sont obtenues par le biais d'un matériau actif piézoélectrique, magnétostrictif ou électrostrictif. La combinaison de la déformation tangentielle et de la force normale crée par frottement une force moyenne non nulle permettant l'entraînement du rotor selon un mouvement continu de direction constante.

Les moteurs à vibrations ne délivrent aujourd'hui que des puissances mécaniques limitées à quelques dizaines de watts. Toutefois, ils présentent souvent déjà des densités massiques de puissance bien meilleures que celles des motoréducteurs classiques.

On peut également remarquer qu'ils travaillent généralement autour de points de fonctionnement qui chargent peu les céramiques des rotors et stators vis-à-vis de leur possibilité : 1 à 2 Mpa par rapport à des limites de charge de l'ordre de 50 Mpa. L'augmentation de la charge de ces céramiques permettrait d'augmenter le couple du moteur, sans augmenter la masse de celui-ci. Elle permettrait par conséquent d'atteindre des puissances de fonctionnement accrues pour des densités massiques de puissance encore plus importantes.

Toutefois, l'augmentation de la puissance utile va se traduire dans les conceptions actuelles par une augmentation de la dissipation énergétique à l'interface de friction entre le rotor et le stator.

C'est ce qui a été illustré sur les figures 1a à 1c, sur lesquelles on a représenté le cycle de fonctionnement d'un moteur piézoactif actuel.

Plus particulièrement, sur la figure 1a, on a porté un cycle de la force normale réciproque à laquelle sont soumises les zones de friction du rotor et stator.

Cette force est présentée sous forme sinusoïdale car la plupart de ces moteurs travaillent sur la base de mouvements sinusoïdaux pour améliorer leur fonctionnement grâce aux résonances. Bien entendu, d'autres types d'excitation sont possibles. Cependant, pour simplifier la présentation, on s'est placé dans le cas le plus courant de vibrations sinusoïdales.

La vitesse tangentielle  $V_{\text{stator}}$  des zones de contact du stator est présentée sur la figure 1b.

On a également porté sur la figure 1b la vitesse

de rotation  $V_{\text{rot}}$  du rotor en régime permanent.

Il y a entraînement du rotor lorsque la vitesse tangentielle des zones de friction du stator est égale ou supérieure à la vitesse du rotor.

La puissance perdue par frottement lors d'un tel cycle a été illustrée sur la figure 1c pour deux points de fonctionnement du moteur, au démarrage en trait plein et à la vitesse  $V_{\text{rot}}$  en traits pointillés.

Au démarrage, c'est-à-dire pour  $V_{\text{rot}} = 0$ , elle est moindre, mais non négligeable, pendant la période du cycle où les zones de friction du stator présentent une vitesse négative, c'est à dire lorsqu'elles retournent à leur position initiale après avoir entraîné le rotor.

A vitesse stabilisée, c'est-à-dire pour  $V_{\text{rot}} > 0$ , la puissance perdue diminue pendant l'entraînement, alors qu'elle augmente pendant la période de retour des zones d'entraînement.

Un but de l'invention est de proposer un moteur piézoactif dans lequel les dissipations énergétiques liées aux frottements cycliques sont supprimées, ou à tout le moins très fortement diminuées.

Il est notamment possible, avec une telle structure de moteur de développer, à densité massique équivalente, des couples de fonctionnement très supérieurs à ceux des moteurs à vibrations de l'art antérieur.

A cet effet, l'invention propose un moteur à vibrations comportant un stator et un rotor, ainsi que des moyens d'excitation pour déformer ledit stator selon un mode vibratoire destiné à lui permettre d'entraîner en rotation le rotor, caractérisé en ce que le stator et/ou le rotor comporte(nt) au moins une zone en un alliage à mémoire de forme au niveau ou à proximité immédiate d'au moins une de leur zone de contact réciproque.

En particulier, avantageusement, les moyens d'excitation sont commandés de façon que pour chaque cycle élémentaire, le rotor et le stator soient en appui réciproque sans glissement au niveau de ladite zone de contact sur une première partie du cycle, et sans appui réciproque sur l'autre partie du cycle.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront encore de la description qui suit. Cette description est purement illustrative et non limitative. Elle doit être lue en regard des dessins annexés sur lesquels :

- les figures 1a à 1c, déjà discutées, sont des graphes illustrant le fonctionnement d'un moteur piézoactif de l'art antérieur ;
- la figure 2 est une représentation schématique en coupe d'une structure possible pour un moteur piézoactif proposé par l'invention ;
- la figure 3 est un graphe sur lequel on a porté les courbes d'hystérésis contrainte/déformation d'un alliage à mémoire de forme ;
- la figure 4 est une représentation schématique en coupe d'une zone d'interface entre le stator et le rotor du moteur de la figure 2 ;
- les figures 5a et 5b sont des graphes semblables à

ceux des figures 1a et 1b pour un moteur piézoactif conforme à l'invention ;  
la figure 5c est un graphe représentant le couple de ce moteur, pour le cycle des figures 5a et 5b.

Le moteur à vibrations illustré sur la figure 2 est un moteur piézoactif de type ultrasonore.

Il comporte un stator 1 monté sur un corps 2, ainsi qu'un rotor 4 monté sur un axe 3 qui traverse le stator et le corps 2, ce rotor 4 étant entraîné par frottement par les déformations du stator 1.

La face du stator 1 opposée au rotor 4 porte une pluralité d'éléments 5 en céramique piézoélectrique répartis en anneau sur le stator 1 et destinés à déformer celui-ci, de façon à ce qu'il entraîne le rotor 4. Cet anneau 5 est excité en régime harmonique par une tension électrique sinusoïdale.

Les différentes zones de contact entre le stator 1 et le rotor 4 comportent un alliage à mémoire de forme.

Pour une présentation générale des alliages à mémoire de forme, on pourra avantageusement se référer à l'ouvrage :

E. Patoor, M. Berveiller - "Technologie des alliages à mémoire de forme" - Traité des Nouvelles Technologies - HERMES - 1994.

Les alliages à mémoire de forme ont en particulier la caractéristique d'être superélastiques jusqu'à des températures très basses. Un exemple de courbes contrainte/déformation d'un tel alliage est donné à la figure 3. Comme on peut le voir sur cette figure, un tel alliage présente une plage superélastique importante pendant laquelle il se déforme à contrainte sensiblement constante.

Par exemple, le moteur présente, au niveau des zones d'interface du stator 1 et/ou du rotor 4 une couche de quelques millimètres d'épaisseur en un alliage Cu-Zn-Al.

Cette couche 6 est par exemple une couche de contact. Elle peut bien entendu également être intégrée à un empilement et par exemple être protégée par un patin de contact en une céramique résistante.

Préférentiellement toutefois, les zones en alliage de forme - dans lesquelles les déformations et contraintes sont localisées - sont de faible dimension (de quelques  $\mu\text{m}$ ) de façon d'une part à amplifier les contraintes en les concentrant dans des zones de faible volume et d'autre part à permettre un fonctionnement de l'alliage en régime isotherme pour les fréquences de cycle classiquement utilisées pour les moteurs piézoactifs (plusieurs dizaines de KHz).

En ce qui concerne ce deuxième point, on notera en particulier que la constante de temps thermique des zones en alliage de forme est fonction de leur dimensionnement, et notamment est, à facteur de forme constant, proportionnelle à la taille desdites zones. Or, si la constante de temps thermique est supérieure à la période du cycle d'un moteur, les zones en alliage de forme se déforment selon un régime adiabatique ; leur échauf-

fement a pour effet d'augmenter la valeur du plateau prolongeant la zone d'élasticité classique et de faire disparaître leur superélasticité.

A titre d'exemple, on a représenté sur la figure 4 une structure possible à l'interface entre le stator 1 et le rotor 4.

A cet interface, le stator 1 présente une couche de contact 6, qui se prolonge par un champ d'éléments en alliage à mémoire de forme (plots 7).

Une telle structure est particulièrement avantageuse, puisqu'elle permet d'amplifier dans le matériau à mémoire de forme les contraintes tangentielles ou normales de la couche de contact 6.

Le rapport d'amplification est approximativement de l'ordre de  $S_1/S_2$ , où  $S_1$  est la surface d'un plot 7 et  $S_2$  la surface de la couche de contact 6 rapportée au nombre de plots 7.

La couche de contact 6 est avantageusement elle aussi en alliage de forme.

Dans l'exemple illustré sur la figure 4, les plots 7 et la couche de contact sont d'une pièce, les plots 7 étant définis par des évidements 8 ménagés à l'intérieur d'une couche 9 en alliage à mémoire de forme.

En variante, les plots 7 pourraient être soudés entre deux couches en matériaux en alliage de forme.

Ces plots 7 sont par exemple de section circulaire. Les épaisseurs des plots 7 et de la couche 9 sont de l'ordre de quelques  $\mu\text{m}$ .

On notera en outre, qu'en jouant sur le rapport entre la largeur et/ou la hauteur des plots 7 et de la couche 6, il est possible d'ajuster les valeurs des plateaux de contrainte en compression (normale) et en cisaillement (tangentielle).

D'autres structures que celle illustrée sur la figure 4 sont bien entendu possibles.

Les interfaces à alliage à mémoire de forme proposées par l'invention permettent un fonctionnement avec des cycles de contrainte et de vitesse tels qu'illustrés sur les figures 5a et 5b.

La courbe sinusoïdale représentée sur la figure 5a est la courbe de la déformation imposée au stator 1 par les éléments piézoélectriques 5.

Pour une interface donnée, pendant la partie du cycle où le stator 1 et le rotor 4 sont en contact (partie I), leur force normale d'appui réciproque est écrite par la valeur de contrainte seuil de l'alliage à mémoire (figure 5a).

La force tangentielle de frottement - qui est proportionnelle à la force normale d'appui entre le stator 1 et le rotor 4 - est alors également constante et reste inférieure au seuil de glissement, de sorte que la zone de contact du stator 1 a alors une vitesse tangentielle égale à celle du rotor 4 (figure 5b).

En outre, les éléments piézoélectriques 5 sont commandés de façon que la déformation imposée au stator 1 soit telle que sur la seconde partie du cycle (partie II), le stator 1 et le rotor 4 ne sont pas en contact, la force d'appui réciproque entre le stator 1 et le rotor 4 étant

alors nulle (figure 5a).

Avec un tel fonctionnement, les pertes énergétiques dues aux frottements entre le stator 1 et le rotor 4 sont négligeables.

Elles sont nulles pendant la partie du cycle où le stator 1 et le rotor 4 sont en contact sans glissement, l'interface 6 en alliage à mémoire de forme accumulant l'énergie de déformation à contrainte constante lorsque la vitesse de la vibration est supérieure à celle du rotor, puis la restituant (figure 5b), lorsque la vitesse de la vibration diminue pour être inférieure à la vitesse du rotor.

Elles sont également nulles pendant l'autre partie du cycle, puisque le stator 1 et le rotor 4 ne sont alors pas en contact.

Étant donné que ces pertes énergétiques sont réduites, la charge des céramiques du moteur peut être plus importante que dans le cas de moteurs piézoactifs dépourvus d'éléments à mémoire de forme, ce qui permet d'envisager des amplitudes de couple plus importantes.

On notera en outre, ainsi qu'illustré sur la figure 5c, qu'avec un moteur du type de celui qui vient d'être décrit, le stator 1 entraîne le rotor 4 avec un couple qui est sensiblement constant sur toute la phase d'un cycle élémentaire pendant laquelle le stator 1 et le rotor 4 sont en contact.

#### Revendications

1. Moteur à vibrations comportant un stator (1) et un rotor (4), ainsi que des moyens d'excitation pour déformer ledit stator (1) selon un mode vibratoire destiné à lui permettre d'entraîner en rotation le rotor (4), caractérisé en ce que le stator (1) et/ou le rotor (4) comporte(nt) au moins une zone (7) en un alliage à mémoire de forme au niveau ou à proximité immédiate d'au moins une de leur zone de contact réciproque.
2. Moteur selon la revendication 1, caractérisé en ce que le rotor (4) et/ou le stator (1) comporte(nt), au niveau ou à proximité de ladite zone de contact réciproque, une couche (6) en un alliage à mémoire de forme.
3. Moteur selon la revendication 1, caractérisé en ce que le rotor et/ou le stator comporte(nt) un champ d'éléments (7) en un alliage de forme superposés à une couche de contact (6).
4. Moteur selon la revendication 3, caractérisé en ce que la couche de contact est également en alliage à mémoire de forme.
5. Moteur selon la revendication 4, caractérisé en ce que les éléments (7) en alliage de forme et la couche de contact (6) sont d'une pièce, les éléments

(7) étant définis par des évidements (8) ménagés à l'intérieur d'une couche (9) en alliage à mémoire de forme.

6. Moteur selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que les moyens d'excitation sont commandés de façon que pour chaque cycle élémentaire, le rotor (4) et le stator (1) soient en appui réciproque sans glissement au niveau de ladite zone de contact sur une première partie du cycle, et sans appui réciproque sur l'autre partie du cycle.

FIG. 1a



FIG. 1b

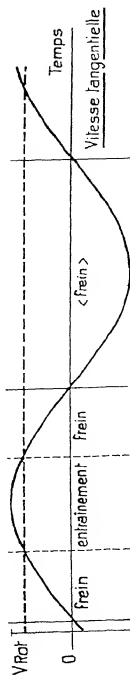
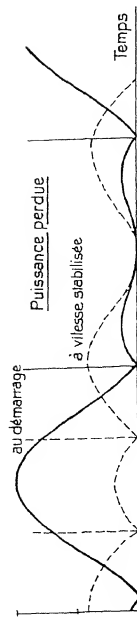


FIG. 1c



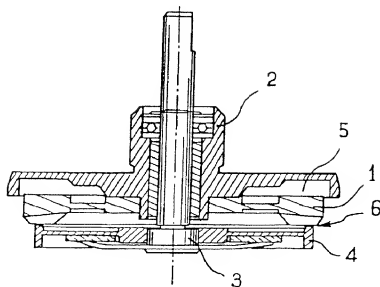


FIG. 2

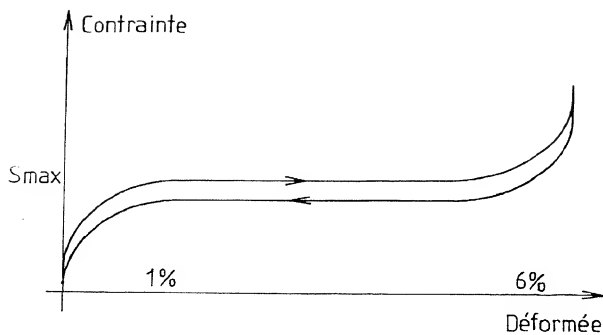
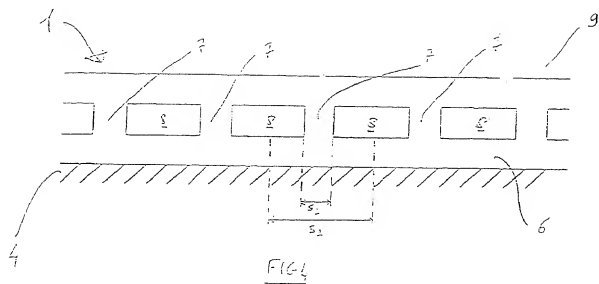
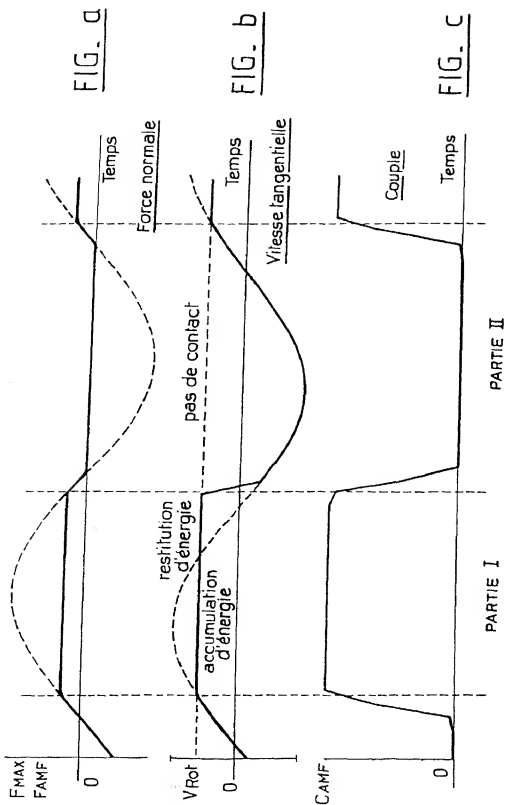


FIG. 3







EP 0 777 278 A1

Office européen  
des brevets

## RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 96 40 2592

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (BICLAS)
A	EP 0 612 115 A (MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD) 24 Août 1994 * abrégé; figure 1 *	1	H01L41/09
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 013, no. 168 (E-747), 21 Avril 1989 & JP 64 001483 A (INOUE JAPAX RES INC), 5 Janvier 1989, * abrégé *	1	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (BICLAS)
			H01L
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 28 février 1997	Examinateur Pelsers, L
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES			
X : particulièrement pertinents à lui seul Y : particulièrement pertinents en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : antécédents technologiques O : divulgation non-écrite F : documents intermédiaires		T : théorie au principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	

EP 0 777 278 A1 (2) (3) (4) (5) (6) (7) (8) (9) (10) (11) (12) (13) (14) (15) (16) (17) (18) (19) (20) (21) (22) (23) (24) (25) (26) (27) (28) (29) (30) (31) (32) (33) (34) (35) (36) (37) (38) (39) (40) (41) (42) (43) (44) (45) (46) (47) (48) (49) (50) (51) (52) (53) (54) (55) (56) (57) (58) (59) (60) (61) (62) (63) (64) (65) (66) (67) (68) (69) (70) (71) (72) (73) (74) (75) (76) (77) (78) (79) (80) (81) (82) (83) (84) (85) (86) (87) (88) (89) (90) (91) (92) (93) (94) (95) (96) (97) (98) (99) (100)